

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

Михаила Владимировича Голуба

«Дифракция упругих волн, локализация энергии и резонансные эффекты в повреждённых многослойных структурах»,

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

При численном моделировании в интересах дефектоскопии и геофизики использование классических граничных условий теории упругости давно уже недостаточно. Более эффективное описание поврежденных контактов и тонких клеевых соединений дают приобретающие популярность *пружинные условия*. В работе Михаила Владимировича Голуба

- 1) внесен вклад в развитие пружинной модели контакта упругих тел;
- 2) проведено принесшее новые, местами неожиданные результаты численное моделирование.

Последнее составляет основную и по объему и по значению часть и состоит из трех разделов:

- А) исследование задачи о протяженном поверхностном излучателе (который, на мой слух, ужасно, называется в диссертации *актуатором*);
- Б) исследование дифракции плоских волн на дефектах в сложно устроенном слое между полупространствами;
- В) исследование дифракции волн (как волноводных мод, так и волн, возбуждаемых простейшими источниками) в не слишком широких волноводах.

Все вычисления основаны на столь успешно развивающемся в Краснодаре методе граничных интегральных уравнений со сведением к уравнениям 2-го рода, которые решаются методом Галеркина. На основе решения гармонической задачи строится решение нестационарной задачи. Изучается распределение энергии, уносимой разными бегущими модами.

Пружинные граничные условия, систематически применяемые в диссертационной работе, предполагающие непрерывность напряжений и скачок смещений, имеют вид  $[t] = 0$ ,  $t = k[u]$ , где матрица  $k$  обычно берется диагональной

(в диссертации так все время и делается). Важным вопросом является установление связи между элементами матрицы  $k$  и механическими связями в области контакта. Предшественники находили  $k$ , решая задачи о прохождении плоских волн через тонкие упругие слои, диссертант рассмотрел в главе 6 другую, более сложную, задачу о пружинной модели зоны с плоской трещиноватостью, что я отношу к существенным достижениям работы. В диссертации, в зависимости от технической мотивации исследования, используются параметры, выбранные или тем, или другим способом.

В главе 3 рассматривается задача о нежестком деформируемом излучателе с пружинными условиями в области контакта с многослойным волноводом, причем допускается частичное отслоение (развитие отслоения не изучается). Колебания излучателя возникают вследствие пьезоэффекта, созданием разности потенциалов на верхней границе излучателя. Контакт излучателя со слоем рассматривается и полностью пружинный, и с отслоениями, которые описываются как полностью раскрытые трещины. Рассматривался только волновод конечной толщины со свободными границами. Жаль, что не решена важная задача о колебаниях пьезоэлектрического излучателя на поверхности стратифицированного полупространства или фононного кристалла, в которой преинтересно было бы сравнить результаты с бесчисленными расчетами для упрощенных постановок.

Ранее другие исследователи не отмечали при идеальном контакте резонансов с локализацией поля в области излучателя. Автором численно обнаружены резонансы, при которых волновая энергия локализуется под частично отслоившимся излучателем. Михаилу Владимировичу не удалось дать резонансным частотам элементарной геометрической интерпретации. Эксперимент, проведенный при участии диссертанта, подтверждает выводы, основанные на вычислениях. Результаты, касающиеся резонансов, неожиданны, интересны для теории и могут иметь важное значение для неразрушающего контроля и, несомненно, имеют докторский уровень.

В главах 4-6 рассмотрены новые задачи о колебаниях фононного кристалла (периодического слоистого пакета между двумя полупространствами) с дефектами. Обнаружено, что когда частоты колебаний лежат в разрешенной зоне, локализация колебаний даже на резонансных частотах невелика. В случае же запрещенных зон (за счет периодичности слоистого пакета) степень локализации при резонансе резко

возрастает. Особенно ярко этот эффект показывает себя, если трещина расположена на некотором расстоянии от границ между слоями. Решена еще одна новая задача – о периодическом наборе отслоений в слоистом фононном кристалле; их присутствие приводит к появлению дополнительных запрещенных зон. Изложенные в работе новые результаты по резонансным и локализационным явлениям в фононных кристаллах с отслоениями также соответствуют докторскому уровню. Новые и интересны результаты исследования резонансных и спектральных свойств задач с множеством отслоений.

Диссертация написана ясно, прекрасно иллюстрирована, изложение подробное и, на мой взгляд, отчетливое, хотя я не назову язык работы прекрасным русским. Заметны следы перевода с английского – языка современной науки и техники, – на котором в основном были написаны положенные в основу диссертации статьи. Степень обоснованности и достоверности результатов диссертации обеспечивается использованием фундаментальных физико-механических принципов при математической формулировке задач. Используемые численные методы основаны на корректном применении методов механики деформируемого твердого тела, математической физики и вычислительной механики. Работоспособность и эффективность разработанных подходов проверена путем сопоставления результатов, полученных этими методами, с известными численно-аналитическими и асимптотическими решениями и экспериментальными данными. Результаты расчетов, приведенные в диссертации, основаны на использовании разработанных лично автором комплексов компьютерных программ. Практическая значимость результатов состоит в возможности идентификации с их помощью частичных отслоений сложных форм, их обнаружение стандартными средствами неразрушающего контроля крайне затруднено.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела. Основные положения диссертационного исследования достаточно полно опубликованы в открытой печати и апробированы на многих семинарах и конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного я заключаю, что диссертационное исследование Михаила Владимировича Голуба «Дифракция упругих волн,

локализация энергии и резонансные эффекты в повреждённых многослойных структурах» представляет собой научно-квалификационную работу и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемых к докторским диссертациям (и более того, это хорошая, добротная диссертация), а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории математических проблем геофизики,  
доктор физико-математических наук, профессор  
тел. +7 (812) 571-32-09  
e-mail: kiselev@pdmi.ras.ru

«18» ноября 2016 г.

Киселев Алексей Прохорович

Адрес: ФГБУН «Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В. А. Стеклова Российской академии наук»,  
191023, г. Санкт-Петербург, наб. р. Фонтанки 27.

Подпись А.П. Киселева удостоверяю:

